

海底地震観測網で観測されるエアガンの自動識別法

溜瀧功史（気象研究所）

1 はじめに

近年、日本海溝及び南海トラフの海域では、稠密かつ高感度なケーブル式海底地震観測網（S-net, DONET）が展開されている。これらのデータを有効に活用することは、海域における緊急地震速報の精度・迅速性の向上や震源分布の詳細な把握に貢献するため、調査研究はもとより防災上も極めて重要である。一方で、地殻構造探査に用いられるエアガンなど、陸上観測点とは異なるシグナルも多数検出する。実際、一元化震源カタログの自動処理として開発した PF 法（溜瀧・他, 2016, 験震時報; Tamaribuchi, 2018, EPS）を用いて S-net の地震波形を処理したところ、エアガン発振中は 1 時間に 200 個程度のエアガンを検出することが判明した。したがって、エアガンによるシグナルを適切に除外することが、緊急地震速報や震源カタログ等の自動処理の精度を高めるうえで重要となる。

エアガンは、発振点の近傍で比較的高周波のパルスのようなシグナルが観測されることが特徴である。しかし、やや発振点から離れると、明瞭な特徴が見られなくなるため、一つ一つのシグナルから判別することは難しい。そこで、連続波形を観察すると、エアガンは人工的に行うため、10 秒または 20 秒程度の等間隔に発生する、各振動波形同士の振幅や形が似ている、といった特徴がある（図 1）。本発表では、振動波形同士の振幅や形が似ていることを利用するため、波形の自己相関を用いて、自然地震かエアガンかを判別することを試みたので報告する。

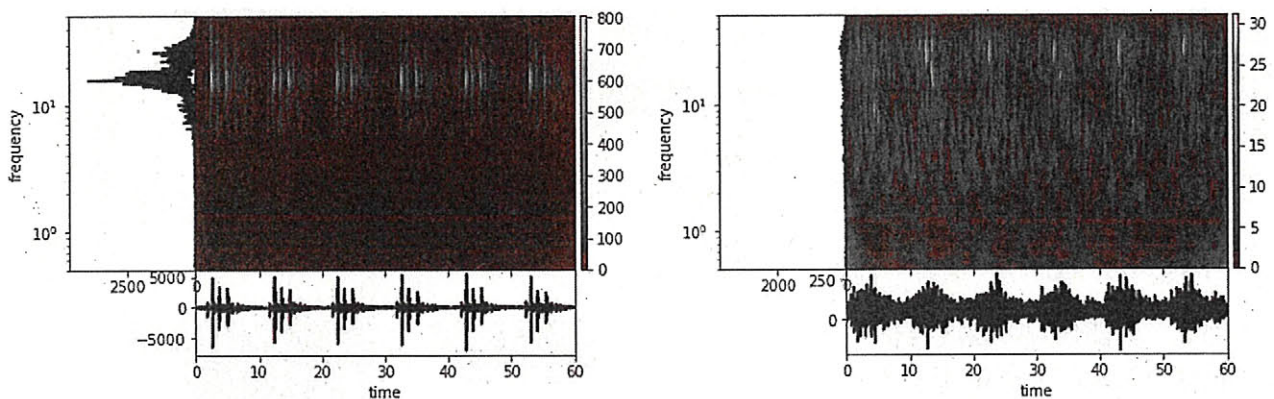


図 1 エアガンの振動波形の例。2016 年 11 月 22 日 11 時から 1 分間の波形，ランニングスペクトルを示す。左：発振点付近の波形（S1N04 の X 成分の速度波形），右：S1N04 から約 50km 離れた地点の波形（S1N08 の X 成分の速度波形）

2 手法

地震波形の前処理として、重力加速度を基に推定した姿勢角情報を用いて、水平と上下成分にベクトル変換を行い、5–10 Hz のバンドパスフィルタを適用した。PF 法では、地震波の自動検測にはこのフィルタ波形を用いる。波形の自己相関を計算する際には、波形の山谷が厳密に合う必要がなく、エンベロープがあてればよい。そこで、フィルタ波形を 0.1 秒ごとに二乗平均平方根を算出し、これをエンベロープ波形として用いた。自動検測によって P 波または S 波を検出した場合、検測時刻 1 秒前から 5 秒間の波形を用いて自己相関を計算した。今回対象としたエアガンは、発振間隔が 10 秒なので、自己相関を計算する区間は、検測時刻 10 秒前±3 秒で、計算区間のうち

最大の自己相関が閾値を超えた場合、エアガンと判定した。

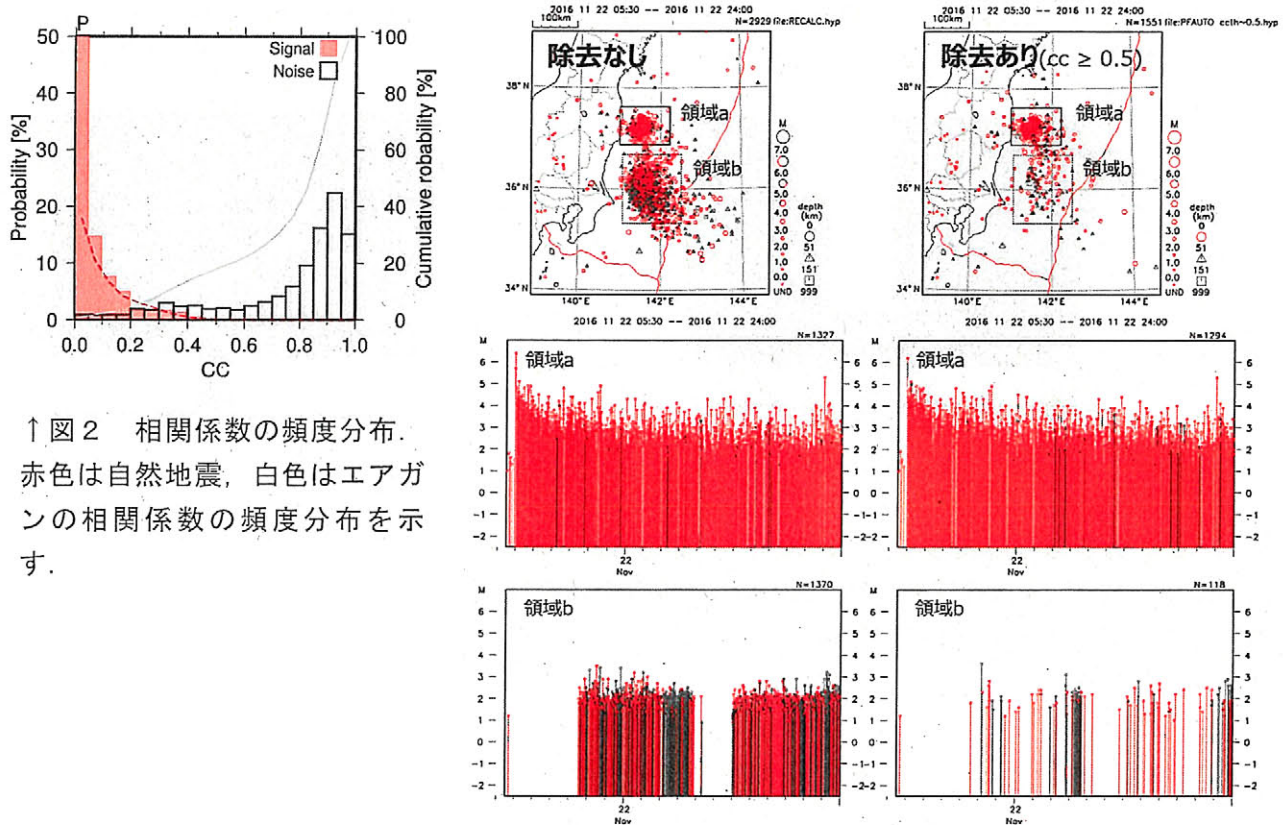
なお、相関係数は、振幅の大きさは通常考慮されない。エアガンの場合、振幅の大きさも同一であるという特徴を活用するため、Ide (2019, Nature) と同様に、振幅の大きさを考慮するように相関係数の式を改変した。

$$CC_{\text{scaled}}(\mathbf{u}, \mathbf{v}) = \frac{\sum_{i=1}^N u_i v_i}{\max(\sum_{i=1}^N u_i^2, \sum_{i=1}^N v_i^2)}$$

ここで、 u_i, v_i はそれぞれエンベロープ波形（オフセット除去後）の時系列値を示す。

3 結果

分類性能を確認するため、2011年9月3日18時から24時間の自然地震のデータと、2016年11月22日5時30分から24時までのエアガンのデータを用いて、それぞれの相関係数の頻度分布を算出した。結果を図2に示す。できるだけ自然地震をエアガンと誤判別することを避けるため、相関係数0.5以上をエアガンと判断する閾値とした。この閾値を用いて、PF法にエアガン除去機能を実装した結果を図3に示す。図3に示すように、2016年11月22日の事例では、5時59分に発生したM7.4の余震（領域a）と同時期にエアガン（領域b）が1370個検出されている。除去機能を実装すると、領域bに決定されるイベントは118個となり、約91%のイベントを除去することに成功した。M7.4の余震と思われる領域aのイベントは、1327個から1294個と2%の減少に留まる。今後は、発振間隔や規模の異なる様々なタイプのエアガンに適用可能か検討する。



↑図2 相関係数の頻度分布。赤色は自然地震，白色はエアガンの相関係数の頻度分布を示す。

図3 2016年11月22日05時30分から24時までの震央分布と地震活動経過図。左：除去機能実装前，右：除去機能実装後。

謝辞：防災科研 S-net の波形を利用しました。